

gonensis G2 и с клонированным штаммом *Anoxybacillus flavithermus* LK4. Штамм 3A3AC сходство по последовательностям 16S рРНК продемонстрировал с *Anoxybacillus* sp. DR04 на 99,80 %, штаммом *Anoxybacillus gonensis* G2 – на 99,80 % и штаммом *Anoxybacillus kamchatkensis* G10 – на 99,80 %. Штамм 3A4AC продемонстрировал тесную связь со сходством 99,93 % с *Anoxybacillus* sp. DR02, штаммом *Anoxybacillus kamchatkensis* TS13 и с бактериальным клоном bac50, в то время как штамм 3A5AC был тесно связан с *Anoxybacillus* sp. DR02, *Anoxybacillus salavatliensis* со сходством на 100,00 %.

Выделенные штаммы показали хорошую ферментативную характеристику по результатам их культивирования на твердой питательной среде. Для выявления генов ферментов, способных к гидролизу компонентов биомассы, нами были проведены полногеномные секвенирования всех выделенных 5 штаммов для создания промышленно ценных штаммов.

Список литературы

3. Prescott L. M., Harley G. P., Klein D. E. Microbiology. W. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, USA. 1993. Vol. 2. P. 588–591.
4. Blasam T. M., Hala I., Al D. et al. // International Journal of Microbiology. 2017. P. 1–12.

* Работа была выполнена при поддержке Международного гранта CREA-LT-2017/10061.

УДК 581.192

А. М. Носов^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
119234, Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12,

²Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН,
127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 35,
al_nosov@mail.ru

КУЛЬТУРА КЛЕТОК ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ КАК ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ*

Ключевые слова: культура клеток высших растений, биотехнология, биологически активные вещества, вторичный метаболизм.

Биологически-активные вещества растительного происхождения играют важнейшую роль в современной фармацевтике, нутрицевтике и космоцевтике.

Их использование часто ограничено доступностью растительных ресурсов и может представлять серьезную угрозу для редких видов лекарственных и ароматических растений. Культуры клеток высших растений могут служить возобновляемым источником ценных вторичных метаболитов, однако до настоящего времени известны лишь единичные примеры их коммерческого применения. Одной из основных причин сложившейся ситуации является недостаточная изученность биологии клеток растений *in vitro*.

В настоящее время, во многом благодаря работам отечественной научной школы по изучению культур клеток высших растений, основанной чл.-корр. АН СССР Р. Г. Бутенко, сформировалось представление о культуре клеток высших растений как уникальной, экспериментально созданной биологической системе, не имеющей природных аналогов. Исследованы и сформулированы основные закономерности становления и развития этой биологической системы как популяции дедифференцированных соматических клеток *in vitro*, а именно: автоселекция клеток по признаку стабильной и/или устойчивой пролиферации; необходимость определенного уровня генетической, биохимической и физиологической гетерогенности составляющих ее клеток; низкие адаптационные возможности клеток растений *in vitro*.

Важнейшим направлением работ учеников и последователей Р. Г. Бутенко в ИФР РАН и МГУ имени М. В. Ломоносова является изучение особенностей образования вторичных метаболитов в культурах клеток высших растений. Проведены работы по изучению их синтеза в диоскореи дельтовидной (*Dioscorea deltoidea*) и якорцах стелющихся (*Tribulus terrestris*) – продуцентов стероидных гликозидов, разных видах женьшеня (*Panax ginseng*, *P. quinquefolius*, *P. japonicus*) и полисциаса (*Polyscias filicifolia*, *P. fruticosa*) – продуцентов уникальных тритерпеновых гликозидов (гинзенозидов, полисциозидов); тиса (*Taxus baccata*, *T. wallichiana*, *T. cuspidata*, *T. canadensis*, *T. media*, *T. sumatrana*) – продуцентов противоопухолевых дитерпеноидов (таксоидов); живучки ползучей и туркменской (*Ajuga reptans* и *A. turkestanica*) – продуцентов адаптогенных и анаболических фитоэкдистероидов; наперстянок (*Digitalis lanata*, *D. grandiflora*, *D. ciliate*) – продуцентов сердечных гликозидов; стевии (*Stevia rebaudiana*) – продуцента сладких стевииол-гликозидов, верблюжей колючке (*Alhagi persarum*) – продуцента широкого спектра флавоноидов и изопреноидов.

В результате были установлены особенности и основные закономерности синтеза и накопления вторичных метаболитов в клетках растений *in vitro*.

В противоположность распространённому в научном сообществе мнению о снижении интенсивности вторичного метаболизма в клетках растений *in vitro*, вплоть до его полного исчезновения, практически во всех исследованных культурах клеток обнаружен высокий уровень образования этих соединений. Однако качественный состав и количественное содержание веществ вторичного метаболизма в клетках растений *in vitro*, как правило, отличается – и во многих случаях кардинально – от такового в интактном растении. В частности, в культурах клеток диоскореи дельтовидной и якорцев стелющихся было показано образование фураностаноловых, но не характерных для интактных растений спироستانоловых гликозидов; образование в культурах клеток тиса вместо С-13-гидроксилированных таксоидов С-14-ОН-соединений; наличие в клетках женьшеня *in vitro* малонильных производных гинзенозидов Rb-группы, в культурах клеток нраперстянок и живучки туркменской – образование фенилэтаноидов вместо сердечных гликозидов и фитоэкдистероидов.

Таким образом, биомасса культур клеток высших растений в качестве растительного сырья не является аналогом традиционного (интактные растения), но во многих случаях может превосходить его по своим свойствам.

Проведенные исследования послужили основой разработки ряда биотехнологий на основе культур клеток высших растений. В ИФР РАН создан зал стендовых установок с двумя линиями биореакторов (максимальный объем 0,63 м³), проведены исследования по масштабированию процесса выращивания. В частности, разработаны технологии выращивания культур клеток диоскореи дельтовидной, женьшеня японского, полисциаса папоротниколистного в биореакторах промышленного объема в полупротоочном режиме. Показано, что при крупномасштабном выращивании сохраняется биосинтетический потенциал культур клеток. Совместно с медицинскими учреждениями (Медицинский радиологический научный центр МЗ РФ, Институт трансплантологии МЗ РФ, Первый Московский медицинский Университет, ЗАО Биофармтокс) проведены исследования биологической активности получаемой биомассы получаемых культур клеток женьшеня, диоскореи, полисциаса и показана высокая активность получаемых из них экстрактов.

Список литературы

1. Nosov A. M., Popova E. V., Kochkin D. V. Isoprenoid production via plant cell cultures: Biosynthesis, accumulation and scaling-up to bioreactors // Production of Biomass and Bioactive Compounds Using Bioreactor Technology. 2014. P. 563–623.

**Работа выполнена на базе «Научно-производственного биотехнологического комплекса для проведения работ по изучению, сохранению и практическому применению культивируемых клеток и органов высших растений и микроводорослей» при финансовой поддержке Мегагранта Правительства Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2019-1882) и гранта РФФИ 18-54-06021 Аз_а.*

УДК 66.022.39+664

**И. Ю. Потороко¹, И. В. Калинина¹, Н. В. Науменко¹,
У. Багале^{1,2}, Ш. Х. Сонавайн²**

¹Южно-Уральский государственный университет (НИУ),
454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76,
potorokoi@susu.ru,

²Национальный технологический институт,
Индия, шт. Телангана, Варангал,
udaybagale@gmail.com

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПИЩЕВОЙ МАТРИКС*

Ключевые слова: инкапсуляция, биологически активные вещества, ультразвук, наноэмульсии.

Современные подходы в технологии продуктов функциональной направленности ориентированы на использование биологически активных компонентов как триггерного фактора повышения резистентности организма человека. Основным ограничением целевого трансфера биоактивных компонентов пищевого матрикса до момента их ассимиляции клетками мишенями является снижение их биодоступности на этапе формирования пищевого матрикса и его доставки в условиях агрессивной среды в ЖКТ [1, 2].

С целью обеспечения стабильности свойств биоактивного соединения в условиях трансфера прежде всего необходимо учитывать их биотрансформацию при создании пищевого матрикса [1, 3–5].

Нами была разработана новая система ультразвуковой инкапсуляции БАВ в пищевой матрикс для эффективной доставки в организм человека.